نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد یازدهم، شماره ۴(۴۴)، زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۷۲۰-۶۹۷

# واکنش برخی شاخص‌های رشد و عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) به زئولیت و کود نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی

ابوالفضل باغبانی آرانی[۱]، سید علی محمد مدرس ثانوی [۲*]، مسعود مشهدی اکبر بوجار[۳] و علی مختصی بیدگلی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

## چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی، کود نیتروژن و زئولیت بر شاخص‌های رشد و عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه دانشگاه تربیت مدرس اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پنج رژیم آبیاری (بدون تنش؛ تنش خفیف در مراحل رویشی و زایشی؛ تنش شدید در مراحل رویشی و زایشی) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی از سه تیمار کودی بر اساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (شاهد، ورمی‌کمپوست به میزان ۲/۷ تن در هکتار و اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت (صفر و نه تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. در هر دو سال با افزایش شدت تنش کم‌آبی شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله کاهش یافتند به‌گونه‌ای‌که تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون کود و زئولیت (با کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک و دانه) در مقایسه با شاهد، به‌ترتیب در هر دو سال، کاهش ۶۰/۹۶ و ۴۸/۰۹ درصدی در عملکرد بیولوژیک و ۸۰/۱۸ و ۷۵/۶۲ درصدی در عملکرد دانه را نشان داد. با کاربرد کود نیتروژن، خصوصاً ورمی‌کمپوست، میزان شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه در مراحل مختلف رشدی و به‌تبع آن عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله، در رژیم‌های مختلف آبیاری افزایش یافتند. در رژیم‌های مختلف آبیاری تیمارهایی که ورمی‌کمپوست و یا زئولیت در آنها به‌کار رفته بودند توانستند شاخص سطح برگ و سرعت رشد بالاتری داشته باشند و در نهایت عملکرد بیشتری تولید نمایند.

**واژگان کلیدی**: تنش خشکی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه.

۱- دانشجوی دکتری زراعت ،دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
* نگارنده‌ی مسئول modaresa@modares.ac.ir

**مقدمه**

آب و هوای ایران عمدتاً خشک و نیمه خشک است که در دسترس بودن آب یک مشکل بزرگ این نواحی بوده و در چنین وضعیتی مدیریت خشکسالی یک ضرورت فوری است (Baghalian *et al*., 2011). کاشت گیاهانی با نیاز آبی کمتر یکی از راه‌های مدیریت مؤثر آب قابل دسترس می‌باشد. شنبلیله می‌تواند به‌عنوان یک محصول مقرون به‌صرفه در زمینه کمبود آب به‌دلیل سازگاری قابل توجه آن به طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شود. شنبلیله گیاهی یک‌ساله است که به‌عنوان گیاه دارویی و علوفه‌ای با کیفیت بالا و گیاه پوششی تثبیت کننده نیتروژن در سرتاسر جهان به‌طور وسیعی کشت می‌گردد. شنبلیله در تمام بخش‌های ایران با سطح زیر کشت حدود ۴۰۰ هکتار کشت می‌شود. تولید سالانه علوفه خشک شنبلیله در ایران ۸۰۰ تن و عملکرد دانه آن ۰/۸ تن در هکتار می‌باشد. گسترش کشت آن در ایران و جهان، این گیاه را با تنش غیرزنده از جمله تنش کم‌آبی در طول فصل رشد مواجه خواهد کرد (Dadrasan *et al*., 2015).

وقوع تنش کم‌آبی در گیاهان زراعی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی آنها اثر می‌گذارد و در نهایت، نتیجه این فعل و انفعالات در میزان عملکرد گیاه پدیدار می‌شود. اما میزان تأثیر تنش بر عملکرد محصول، رابطه مستقیمی با شدت و مدت تنش، مراحل وقوع تنش و نیز بر حسب گونه‌ی گیاه دارد (Jaleel *et al*., 2008). نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب در شنبلیله سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از کاهش سطح برگ، ارتفاع و وزن خشک از طریق کاهش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و در نهایت عملکرد علوفه و دانه خواهد شد (Bazazi *et al*., 2013; Dadrasan *et al*., 2015). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در افزایش تولید گیاهان، به‌واسطه افزایش عملکرد ماده‌ی خشک، توسعه‌ی سطح برگ و بهبود فتوسنتز می‌باشد. نیتروژن علاوه بر ایفای نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم مولکول کلروفیل هم هست. کمبود نیتروژن در اکثر گیاهان باعث کاهش رشد رویشی، زایشی و در نهایت عملکرد می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد شنبلیله توسط محققین مختلفی گزارش شده است (Tunctürk *et al*., 2011; Dadrasan *et al*., 2015). علاوه بر این در راستای مدیریت مؤثر مصرف آب در کشاورزی، استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی، زئولیت یا تقویت شرایط بیولوژیک خاک ممکن است در کاهش اثرات تنش کم‌آبی مؤثر باشند. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست می‌باشد. همچنین، زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های متخلخل طبیعی هستند که با ساختمان کریستالی خود باعث افزایش فراهمی طولانی مدت آب و عناصر غذایی شده که به بهبود رشد گیاه کمک می‌کنند. کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی بر رشد شنبلیله نشان داد که با مصرف زئولیت، تعداد، طول، قطر، سطح برگ و وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی افزایش یافت و کاربرد ۴۰ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر رشد شنبلیله داشت (Karimi *et al*., 2013). آب و نیتروژن از عوامل عمده تعیین کننده سطح تولیدات کشاورزی در جهان هستند. شناخت و

بررسی شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای آن از اهمیت زیادی برخوردار است. فیزیولوژیست‌های گیاهی، شاخص‌های رشد را به‌عنوان ابزارهای مفیدی جهت تجزیه و تحلیل کمی رشد و نمو گیاه زراعی به‌شمار آورده و نیز یک روش پرقدرت برای تخمین بلند مدت تولید خالص فتوسنتزی می‌دانند. این روش بر مبنای اندازه‌گیری متوالی وزن خشک و سطح برگ گیاه منفرد و یا پوشش‌های گیاهی استوار است (Radfords, 1967). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و جذب خالص تحت تاثیر آب و کود نیتروژن قرار دارند (Tarighol Eslami *et al*., 2012). همچنین، نتایج مطالعات گاردنر و همکاران (Gardner *et al*., 1990) نشان داد که معمولاً شاخص سطح برگ سه تا پنج برای تولید حداکثر ماده خشک در اغلب محصولات زراعی مناسب است. همچنین، گزارش کردند که همبستگی مثبت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد. به‌دلیل این‌که اکثر شاخص‌های رشد به‌طریقی به شاخص سطح برگ وابسته هستند تغییر این شاخص از طریق تغییر در میزان آب مصرفی و کود نیتروژن یکی از عملی‌ترین راهکارها است. در هر منطقه شاخص سطح برگی که بتواند حداکثر عملکرد را تولید نماید متفاوت است و بایستی از طریق پژوهش‌های محلی به‌دست آید.

در خصوص رفتار گیاه دارویی شنبلیله در پاسخ به شرایط مختلف رطوبتی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی و زئولیت مطالعات اندکی صورت گرفته است. هدف از انجام این پژوهش تأثیر تنش کم‌آبی، کود نیتروژن و زئولیت و برهمکنش آنها بر شاخص‌های رشد و ارتباط آن با عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران ـ کرج در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (چیتگر) در دانشکده کشاورزی، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و میانگین درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سلسیوس است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. پنج رژیم آبیاری ($I_1$= بدون تنش در مرحله رویشی و زایشی: آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (مقدار رطوبتی که بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم در خاک وجود دارد)، $I_2$= آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی، $I_3$= آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، $I_4$= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله رویشی و $I_5$= آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در مرحله زایشی) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریلی از سه تیمار کودی بر اساس نیاز نیتروژنی گیاه ($F_1$= بدون کوددهی، $F_2$= ورمی‌کمپوست به میزان ۲/۷

تن در هکتار و $F_3$= اوره به میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار) و دو مقدار زئولیت ($Z_1$= صفر و $Z_1$= ۹ تن درهکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند.

جهت اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی، قبل از اجرای آزمایش با نمونه‌گیری از خاک در زمان‌های متفاوت، از طریق روش وزنی درصد حجمی رطوبت خاک تعیین گردید و درصد حجمی رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه TDR ( Time Domain Reflectometry) اندازه‌گیری شد و سپس یک معادله رگرسیونی بین دو سری از داده‌ها محاسبه شده که برای کالیبره کردن دستگاه TDR مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دستگاه TDR به‌طور روزانه در طول دوره رشد گیاه ثبت شد. این روش با استفاده از روش وزنی چک و به رطوبت حجمی تبدیل گردید. مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس فرمول‌های روش (Mokhtassi-Bidgolia *et al*., 2013) محاسبه و در اختیار گیاه قرار گرفت. در هر دو سال کشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت در زمین اصلی با تراکم حدود ۲۷ بوته در متر مربع (فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۲/۵ سانتی‌متر) انجام گردید. تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی پس از استقرار کامل گیاه (۱۷خرداد) در زمین اصلی تا مرحله گلدهی (۱۶ تیرماه) و تیمار تنش کم‌آبی در مرحله زایشی نیز، هنگام گلدهی تا انتهای سیکل حیاتی گیاه بر اساس ظرفیت زراعی خاک منطقه اعمال گردید. مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست عبارت از درصد نیتروژن خاک و کود (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای شنبلیله برابر با ۴۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار آزادسازی نیتروژن کود ورمی‌کمپوست (۳۰ درصد) بود. بر این اساس مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست ۲/۷ تن در هکتار تعیین گردید. زئولیت مصرفی از نوع کلینوپتیلولیت بوده و ویژگی‌های شیمیایی آن در جدول ۲ ارایه شده‌است.

بر اساس تیمارها، زئولیت و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک هر کرت به‌طور کامل مخلوط شدند. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. بذر از اکوتیپ بومی منطقه اصفهان (توده اردستانی) بود. میانگین ارتفاع ۲۰ بوته در هر کرت در هنگام برداشت دانه شنبلیله ثبت گردید.

برای محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، به فاصله هر ۱۴ روز یک بار از بوته‌ها نمونه‌گیری شد و سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح سنج (Leaf Area Meter) اندازه‌گیری شد. بوته شنبلیله در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس وزن شدند (TDW, g). آزمون بارتلت در این آزمایش برای اکثر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد به همین دلیل سال‌ها به‌طور جداگانه آنالیز گردیدند. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت. قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم یافته) انجام شد. مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون LSD انجام گرفت.

رگرسیون خطی Ln TDW بر متغیر زمان، (t) تعداد روز پس از تنش و همچنین رگرسیون خطی Ln LAI در t توسط روش "حداقل مربعات" با استفاده از نرم‌افزار SAS (2002) برآورد شد. درجه چند جمله‌ای بر اساس بالاترین ضریب ($R_2$) تعیین شد.

$$Ln\ TDW = (a + bt + ct^2) \quad (۱)$$

$$Ln\ LAI = (a_1 + b_1t + c_1t^2) \quad (۲)$$

سرعت رشد محصول نیز با استفاده از روش پیشنهاد شده توسط گادریان و وان‌لار (Goudriaan and van Laar, 1994) محاسبه گردید.

$$CGR = (b + 2ct) \times TDW \quad (۳)$$

## نتایج و بحث

**شاخص سطح برگ:** شاخص سطح برگ در همه تیمارها شباهتی را از نظر افزایش تدریجی از آغاز اعمال تیمارها و رسیدن به حداکثر آن در اواسط رشد (۷۳ روز بعد از کاشت) را نشان داد و بعد از آن تمایل به کاهش در پایان دوره رشد مشهود بود. تیمار شاهد ($I_1$) به‌عنوان تیماری که بالاترین آب قابل دسترس را در اختیار داشت LAI بیشتری را در مقایسه با سایر سطوح خشکی به خود اختصاص داد ولی تفاوت معنی‌دار قابل توجهی با سایر تیمارها نداشت. در هر دو سال، ۱۷ و ۳۱ روز پس از سبز شدن تفاوت معنی‌داری بین شاخص سطح برگ در میان تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد (شکل‌های ۱ و ۲). دلیل آن را می‌توان چنین بیان کرد که در مراحل ابتدایی رشد بوته‌ها کم بوده و توسعه شاخ و برگ در گیاه چندان زیاد نیست. بنابراین طبیعی است که حداکثر تفاوت در این آزمایش از این زمان به بعد باشد. نتایج فوق با نتایج ساجدی و اردکانیان (Sajedi and Ardekani, 2008) و طریق الاسلامی و همکاران (Tarighol Eslami *et al*., 2012) مطابقت دارد. با شروع اعمال تنش کم‌آبی خفیف و شدید در مرحله رویشی ($I_2$ و $I_4$) (از ۳۱ روز پس از سبز شدن به بعد) تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (ورمی‌کمپوست و اوره) وجود داشت به‌گونه‌ای‌که در سال ۱۳۹۳ در ۴۵ روز پس از کاشت به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمارهای تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی‌کمپوست بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$) و تیمار شاهد بدون کود و زئولیت ($I_2Z_1F_1$) بود. در سال ۱۳۹۴ بیشترین مقدار LAI مربوط به تیمار تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با زئولیت و بدون کود ($I_2Z_2F_1$) بود که با تیمارهای تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با ورمی‌کمپوست با یا بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_2$) تفاوت معنی‌داری نداشت. در این راستا، محققین نیز بیان نمودند که آب و نیتروژن از مهم‌ترین عامل‌های تعیین‌کننده گسترش سطح برگ می‌باشند (Mokhtassi-Bidgoli *et al*., 2013).

همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در ۴۵ روز پس از کاشت، کاربرد ورمی‌کمپوست علاوه بر نقش آن در تامین مواد غذایی مورد نیاز شنبلیله (از جمله نیتروژن) توانسته اثرات منفی کم‌آبی را بر LAI نیز کاهش دهد. در هر دو سال، نمونه برداری ۵۹ روز پس از کاشت که مصادف با گلدهی کامل شنبلیله بود در کرت‌های بدون تنش کم‌آبی ($I_1$، $I_3$ و $I_5$) اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت اما با تنش کم‌آبی خفیف ($I_2$) و شدید ($I_4$) در مرحله رویشی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به‌گونه‌ای‌که در سال ۱۳۹۳ در تنش کم‌آبی خفیف بیشترین LAI در تیمار تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی‌کمپوست بدون زئولیت ($I_2Z_1F_2$) مشاهده شد که با تیمارهای تنش خفیف کم‌آبی در مرحله رویشی با کاربرد ورمی‌کمپوست بدون زئولیت و با تیمار کاربرد زئولیت و اوره ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_3$) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار شاهد

($I_2Z_1F_1$) به‌دست آمد که با تیمار با زئولیت و بدون کود نیتروژن ($I_2Z_2F_1$) اختلاف معنی‌داری نداشت. در سال ۱۳۹۴ بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ($I_2Z_2F_1$) می‌باشد که با تیمارهای ($I_2Z_1F_2$ و $I_2Z_2F_2$) تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج حاکی از آن است که در هر دو سال در اکثر تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در هنگام گلدهی، ورمی‌کمپوست توانسته بیشترین شاخص سطح برگ را ایجاد نماید. در سال ۱۳۹۳ در تنش کم‌آبی شدید در مرحله رویشی نیز تیمار ($I_4Z_2F_2$) بالاترین LAI را به خود اختصاص داده که با تیمار ($I_4Z_1F_2$) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن در ($I_4Z_1F_1$) مشاهده شد. در سال ۱۳۹۴ نیز بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ($I_4Z_2F_1$) بوده که با تیمارهای ($I_4Z_1F_2$ و $I_4Z_2F_2$) اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که در تنش‌های شدید کم‌آبی زئولیت با ورمی‌کمپوست توانسته در کاهش اثرات منفی کم‌آبی مؤثرتر واقع شود. می‌توان چنین گفت که ورمی‌کمپوست به دلیل رهاسازی تدریجی مواد غذایی از جمله نیتروژن و حفظ و نگهداری آب توانسته شاخص سطح بیشتری را ایجاد نماید (Allahdadi *et al*., 2010).

نتایج نشان داد در هر دو سال در ابتدای شروع تنش در مرحله زایشی (۷۳ روز پس از کاشت) بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و در این مرحله گیاهان شنبلیله حداکثر شاخص سطح برگ را دارا بودند ولی ۸۷ روز پس از کاشت که گیاهان مدت زمان بیشتری با تنش کم‌آبی مواجه بوده‌اند تنش کم‌آبی شدید در مرحله زایشی ($I_5$) اثر بیشتری در کاهش شاخص سطح برگ داشت. همان‌طورکه مشاهده می‌شود با گذشت زمان و نزدیک شدن به انتهای فصل، LAI در تمامی تیمارها کاهش یافت ولی در بین تیمارها، دو تیمار ($I_3$ و $I_5$) زودتر به مرحله کاهش LAI وارد شده‌اند به‌نحوی‌که کمترین شاخص سطح برگ در تیمار شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون مصرف کود و زئولیت به‌دست آمد. در هر دو سال ۹۹ روز پس از کاشت با توجه به اتمام فصل رشد شنبلیله شاخص سطح برگ به حداقل خود رسیده و بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت.

**سرعت رشد محصول:** همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود به‌طور کلی سرعت رشد محصول در ابتدا افزایش سپس کاهش و بعد از آن منفی شده‌است. چنین روندی به‌دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان می‌باشد. با پیر شدن برگ‌ها و کاهش سرعت تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول رو به تنزل می‌گذارد. مهم‌ترین علت منفی شدن CGR در مراحل انتهایی رشد، کاهش ماده خشک در اثر ریزش برگ‌ها است (Parsa *et al*., 2011; Tarighol Eslami *et al*., 2012; Omidi, 2009). در مراحل اولیه رشد، به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور توسط برگ‌های گیاه، سرعت رشد گیاه کم بود ولی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر کاربرد کود نیتروژن و زئولیت وجود داشت به‌گونه‌ای‌که در همان ابتدای فصل رشد، قبل از شروع تنش کم‌آبی (۳۱ و ۱۷ روز پس از کشت)، در اکثر تیمارها در هر دو سال کاربرد کود نیتروژن (ورمی‌کمپوست یا اوره) سبب افزایش سرعت رشد محصول گردید (شکل ۳). نتایج سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با

افزایش میزان مواد غذایی موجود در خاک، گیاه سریعتر سطح برگ خود را افزایش و موجب پوشیده شدن زمین توسط تاج گیاه شده و این امر منجر به افزایش سرعت رشد محصول و در نهایت ماده خشک می‌گردد (Singer *et al*., 2004; Allahdadi *et al*., 2010). با نمو گیاه، و به‌دلیل توسعه سطح برگ‌ها و در نتیجه جذب نور بیشتر توسط سطح جامعه گیاهی، در میزان CGR افزایش سریعی به‌وجود آمد که به‌دلیل افزایش نیاز گیاه به آب و مواد غذایی، اختلاف CGR بین ترکیبات تیماری سطوح مختلف آبیاری از ۴۵ روز بعد از کاشت زیاد شد و تیمارهای دارای زئولیت و کود نیتروژن در خاک، افزایش CGR را به همراه داشتند. با شروع اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رویشی در نمونه‌برداری سوم (از ۳۱ روز پس از سبزشدن به بعد) تغییرات سرعت رشد محصول در رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت گشت به‌نحوی‌که تنش کم‌آبی در مقایسه با شرایط مطلوب (تیمارهای بدون تنش) سبب کاهش سرعت رشد شنبلیله شد، به‌ویژه در تیمارهای ($I_2$ و $I_4$) تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر کاربرد زئولیت و کود نیتروژن (ورمی‌کمپوست و اوره) نیز وجود داشت، به‌گونه‌ای‌که در هر دو سال در تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی ($I_2$)، به‌ترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول در تیمار بدون زئولیت با ورمی‌کمپوست ($Z_1F_2$) و بدون زئولیت و کود ($Z_1F_1$) مشاهده شد. نتایج سایر محققین نیز حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آب گیاه، سرعت رشد گیاه به‌دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد (Parsa *et al*., 2011; Tarighol Eslami *et al*., 2012; Omidi, 2009). نتایج نشان داد اکثر تیمارهایی که در این مرحله شاخص سطح برگ بالاتری داشتند توانستند سرعت رشد محصول بیشتری نیز داشته باشند. به‌نظر می‌رسد با افزایش شاخص سطح برگ در شرایط بدون تنش، تشعشع بیشتری توسط گیاه دریافت شده است که به‌علت فتوسنتز بیشتر سرعت رشد محصول نیز افزایش یافته است. در شرایط تنش به‌علت کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و پیری زودرس، سرعت رشد محصول کاهش یافته است (Parsa *et al*., 2011). سوماره و همکاران (Soumare *et al*., 2003) نیز نشان دادند که در ذرت گیاهانی که سریع‌تر سطح برگ خود را گسترش داده بودند سرعت رشد محصول بیشتری داشته و در نتیجه منجر به افزایش ۱۰- ۲۰ درصد عملکرد و ماده خشک نسبت به شاهد گردیدند (Allahdadi *et al*., 2010). در سال ۱۳۹۳ در تنش کم‌آبی شدید در مرحله رویشی نیز تیمار کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست ($I_4Z_2F_2$) در طول فصل رشد، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بیشتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشته که در مقایسه با شاهد در این سطح تنش ($I_4Z_1F_1$)، منجر به افزایش بیش از ۱۹ درصدی عملکرد دانه گردیده است. اما در سال ۱۳۹۴ بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به تیمار کاربرد اوره به‌تنهایی بود. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در اکثر تیمارهای تنش کم‌آبی خفیف در ۴۵ روز پس از کاشت، کاربرد ورمی‌کمپوست و یا زئولیت، به‌دلیل نقش آنها در کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر رشد گیاه، توانستند سرعت رشد بالاتری را داشته باشند. در هر دو سال، در ۵۹ روز پس از کاشت در اکثر ترکیبات تیماری سطوح مختلف آبیاری، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بالاترین سرعت رشد را داشتند و همچنین در بین

تیمارهای دارای تنش کم‌آبی در مرحله رویشی ($I_2$ و $I_4$) تیمارهای بدون کود و زئولیت نیز کمترین سرعت رشد را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). به‌تدریج و با رسیدن به مرحله رشد زایشی (۷۳ روز پس از کاشت) و پیر شدن برگ‌ها CGR کاهش یافته که این مرحله نیز برای تیمارهای اعمال شده، در زمان‌های مختلفی حادث گردید، ولی به‌طورکلی، با افزایش شدت کم‌آبی نسبت به شاهد، گیاه زودتر به مرحله کاهش CGR وارد شد و با افزودن ورمی‌کمپوست رسیدن به مرحله کاهش CGR دیرتر به‌وقوع پیوست. با توجه به تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست در افزایش نگهداری آب در ناحیه خاک ریشه و نقش آن بر دوام سطح برگ، شاخص سطح برگ و جلوگیری از کاهش زودهنگام NAR، تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر CGR قابل پیش‌بینی بود. نتایج این آزمایش در مطابقت کامل با نتایج سایر محققین می‌باشد (Allahdadi *et al*., 2010; Singer *et al*., 2004) در این راستا نیز لوئکه و همکاران (Loecke *et al*., 2004) در بررسی اثرات کود کمپوست بر گیاه ذرت در یک آزمایش دو ساله نیز نتایج مشابهی به‌دست آورد، به‌طوری‌که، کاربرد کمپوست در خاک موجب افزایش سرعت رشد (CGR)، محتوای نیتروژن برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و در یکی از دو سال سرعت جذب خالص ذرت گردید.

در هر دو سال در نمونه‌برداری ۸۷ روز پس از کاشت سرعت رشد در تمامی سطوح تنش (به غیر از شاهد) منفی گردید این بدان معنی است که به‌دلیل اثر مستقیم آب بر فتوسنتز و تنفس و به‌تبع آن کاهش ماده خشک تولیدی گیاه، میزان ماده خشک تولید شده، کمتر از مقدار ماده خشکی است که گیاه در اثر تنفس و یا ریزش برخی از اندام‌ها مثل برگ‌ها از دست می‌دهد (Mosavian and Seyed Mohammadi, 2015). همچنین در این مرحله از نمونه برداری، CGR کرت‌هایی که گیاهان آنها با تنش کم‌آبی در مرحله زایشی مواجه شده بودند با سرعت بیشتری کاهش یافت و علاوه بر این، گیاهانی که با ورمی‌کمپوست و یا زئولیت تیمار شده بودند دارای بالاترین سرعت رشد محصول بودند. در آخرین مرحله نمونه برداری (۹۹ روز پس از کاشت) در هر دو سال در تیمار شاهد (بدون تنش کم‌آبی) به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان CGR در تیمارهای کاربرد زئولیت و کود ورمی‌کمپوست ($Z_2F_2$) و بدون زئولیت و کود اوره ($Z_1F_3$) مشاهده شد. که می‌توان گفت در تیمار بدون تنش اضافه کردن زئولیت تاثیری در سرعت رشد محصول نداشته و حتی اضـافه شـدن کود اوره به دلیل آب‌شویی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگرفته است ولی اضافه کردن ورمی‌کمپوست به‌دلیل رهاسازی تدریجی مواد غذایی خصوصاً نیتروژن نقش موثری در سرعت رشد محصول داشته است و همچنین زئولیت نیز توانسته در کاهش آب‌شویی نیتروژن رهاسازی شده از ورمی‌کمپوست نقش مؤثری داشته باشد (Arancon *et al*., 2005). در تیمار تنش کم آبی خفیف در مرحله رویشی ($I_2$)، در هر دو سال نیز به ترتیب بیشترین و کمترین میزان CGR در تیمارهای کاربرد زئولیت و کود ورمی‌کمپوست ($Z_2F_2$) و زئولیت بدون کود نیتروژن ($Z_2F_1$) مشاهده شد. در تنش کم‌آبی شدید در مرحله زایشی ($I_3$)، در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به‌ترتیب کمترین میزان CGR در تیمارهای بدون کاربرد زئولیت و کود نیتروژن ($Z_1F_1$) و بدون زئولیت و کود اوره ($Z_1F_3$) به‌دست آمدند که نشان‌دهنده

اهمیت نقش مصرف زئولیت در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی خفیف می‌باشد و می‌توان بیان کرد که در مراحل انتهایی رشد شنبلیله کاربرد اوره به‌دلیل آب‌شویی، تاثیر مفیدی بر سرعت رشد محصول نداشته است.

**خصوصیات مرتبط با مورفولوژی و عملکرد**

جدول تجزیه مرکب نشان داد که اثر برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، کود نیتروژن و سال بر هر سه صفت ارتفاع، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار گردید. علاوه بر این اثر برهمکنش چهارگانه رژیم آبیاری، کود، زئولیت و سال بر عملکرد بیولوژیک و اثر برهمکنش کود و زئولیت بر عملکرد دانه معنی‌دار گردیدند (جدول ۳).

**ارتفاع گیاه:** با افزایش شدت تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته کاهش یافت (جدول ۴). در اکثر ترکیبات تیمار آبیاری استفاده از کود نیتروژن (اوره و ورمی‌کمپوست) سبب افزایش ارتفاع شد. به‌گونه‌ای‌که، کود اوره در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی ($I_1$) و در اکثر ترکیبات تیماری تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی و زایشی ($I_2$ و $I_3$)، بالاترین ارتفاع را ایجاد کرد ولی در تنش‌های شدید کم‌آبی در مرحله رویشی و زایشی، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بیشترین ارتفاع را داشتند. بزازی و همکاران (Bazazi *et al*., 2013) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع شنبلیله (توده اردستانی) شده و با افزایش شدت تنش، ارتفاع کاهش بیشتری یافت. علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها می‌باشد. با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس یاخته‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ها کاهش یافته و در نتیجهٔ آن سرعت رشد، فتوسنتز و ویژگی‌های ساختار ظاهری و در نهایت ارتفاع و زیست تودهٔ گیاه کاهش می‌یابد (Baghalian *et al*., 2011). مطالعات مختلف نشان داده است که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع شنبلیله (Ahmad Alhadi *et al*., 1999; Riasat *et al*., 2005) می‌شود. حضرتی و همکاران (Hazrati *et al*., 2015) گزارش کردند که احتمالاً به‌کارگیری زئولیت تحت شرایط کم‌آبی از طریق بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ذخیره رطوبت و مواد غذایی باعث افزایش ارتفاع گیاه و طول برگ آلئوورا شد. حاج سید هادی و رضایی قلعه (Haj-Seyed-Hadi and Rezaee-Ghale, 2016) نیز گزارش کردند که کود اوره و ورمی‌کمپوست سبب افزایش ارتفاع بابونه می‌گردند. ورمی‌کمپوست از طریق ازدیاد جذب آب و تأثیر بر قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک و توانایی آن در افزایش جذب مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف روی میزان فتوسنتز و تولید بیوماس مؤثر واقع شده و باعث افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود. در مطالعه‌ای روی گیاه سیر مشخص گردید که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب بهبود چشمگیر در ارتفاع بوته شد (Arguello *et al*., 2006).

**عملکرد بیولوژیک:** عملکرد بیولوژیک با افزایش شدت تنش کم‌آبی در هر دو سال کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۴). در سال ۱۳۹۳ در تمامی ترکیبات تیماری آبیاری، تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست بالاترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند به‌گونه‌ای‌که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تنش کم‌آبی به همراه ورمی‌کمپوست با (۲۲۵۵/۴ کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود با (۷۹۵/۹۲ کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول

۴). همچنین، در سال ۱۳۹۴ نیز در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، کرت‌های دارای ورمی‌کمپوست بالاترین عملکرد بیولوژیک را به‌دست آوردند، به‌گونه‌ای‌که، بیشترین مقدار برهمکنش (I×Z×F) آن در تیمار بدون تنش آبی به‌همراه مصرف زئولیت و ورمی‌کمپوست با (۱۹۹۸ کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون مصرف کود و زئولیت به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ($I_1Z_1F_1$) کاهش ۴۸ درصدی در عملکرد بیولوژیک را نشان داد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد کاهش عملکرد بیولوژیک به دلیل کاهش سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ باشد. هنگامی که گیاهان با محدودیت آب مواجه می‌شوند برای به حداقل رساندن از دست دادن آب، روزنه‌های خود را می‌بندند که منجر به کاهش $CO_2$ قابل دسترس برای فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. تحقیقات حکایت از آن دارد که افزایش تنش خشکی در گیاهان مختلف موجب کاهش طول برگ، عرض برگ، طول ساقه‌های جانبی و عملکرد ماده خشک می‌گردد (Dadrasan *et al*., 2015). بزازی و همکاران (Bazazi *et al*., 2013) گزارش کردند که در شنبلیله با افزایش شدت تنش کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) نسبت به شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) عملکرد بیولوژیک را به میزان ۴۳ درصد کاهش می‌دهد. در بررسی انجام شده در گیاه شنبلیله تنش کم‌آبی سبب کاهش سطح برگ گیاه در نتیجه کاهش در تعداد و اندازه سلول و همچنین کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کارتنوئیدها) برگ شد (Ahmad Alhadi *et al*., 1999). در بررسی دو گیاه دارویی ریحان و شنبلیله تحت تنش خشکی، نشان داده شد که در انتهای دوره رشد، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن ساقه، وزن دانه در بوته و ماده خشک تولیدی در اثر تنش نسبت به شرایط نرمال کاهش می‌یابد. با توجه به‌دلایل فوق، در اثر تنش، به تدریج سرعت و میزان رشد گیاه و در نتیجه عملکرد نهایی آن کاهش خواهد یافت (Ehyaei *et al*., 2009). گرگینی شبانکاره و همکاران (Gorgini Shabankareh *et al*., 2016) نیز گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک بادرنجبویه نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. آنها عوامل اصلی کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه در طول تنش را تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تخصیص بیشتر زیست تودهٔ تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها، کاهش میزان سبزینه یا بازدهی فتوسنتز و کاهش سطح برگ گیاه معرفی نمودند. روند کاهش سطح برگ نیز با روند کاهش عملکرد در اثر تشدید کمبود آب همخوانی دارد. کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود و از این راه نیز رشد برگ‌ها کاهش یافته، بنابراین با کاهش سطح برگ سطح تعرق گیاه نیز کاهش می‌یابد و این نخستین ساز و کار گیاه برای رویارویی با خشکی به‌حساب می‌آید. کاهش سطح برگ، کاهش سطح جذب نور خورشید و به‌دنبال آن سطح نور ساختی گیاه کاهش و در نهایت به کاهش تولید مادهٔ خشک و عملکرد گیاه منجر می‌شود (Taheri Asghari, 2010). همچنین الهدادی و همکاران (Allahdadi *et al*., 2010) نشان دادند که کاربرد کودهای کمپوستی در خاک پس از آن‌که این ماده دوره رسیدگی خود را در داخل خاک گذراند، به‌تدریج تاثیر مثبت آن بر سطح فتوسنتزی (LAI) و به‌دنبال آن سرعت تولید ماده خشک (CGR) ظهور بیشتری پیدا کرده و سبب افزایش اختلاف

در بین تیمارها از نظر ارتفاع و وزن خشک گیاه در مراحل مختلف می‌گردد. در مطالعه‌ی دیگری که تحت شرایط مزرعه‌ای روی گیاه فلفل و با استفاده از مقادیر ۱۰ و ۲۰ تن ورمی‌کمپوست در سال اول و مقادیر ۵ و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در سال دوم انجام گرفت، مشاهدات بیانگر آن بود که وزن اندام‌های هوایی، سطح برگ و عملکرد میوه‌ی گیاهان فلفل تیمار شده با ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر گردید (Arancon *et al.*, 2005). محققین این پژوهش در تفسیر نتایج حاصله، چنین عنوان کردند که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق بهبود خواص بیولوژیک خاک مانند افزایش بیوماس میکروبی و عرضه‌ی پایدار عناصر غذایی پرمصرف نظیر نیتروژن و فسفر و نیز وجود تنظیم کننده‌های رشد گیاهی همچون هورمون‌های رشد گیاه در ورمی‌کمپوست می‌تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه فلفل گردد.

**عملکرد دانه:** در هر دو سال بیشترین مقدار اثر برهمکنش رژیم آبیاری× کود برای عملکرد دانه در تیمار بدون تنش کم‌آبی همراه با کاربرد کود ورمی‌کمپوست ($I_1F_2$) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۹۳ در تیمار تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی بدون کود نیتروژن ($I_3F_1$) به‌دست آمد که به‌ترتیب با تیمارهای تنش شدید کم‌آبی در مرحله زایشی بدون کود نیتروژن و با کود اوره ($I_5F_1$ و $I_5F_3$) تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین در سال ۱۳۹۴ در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود نیتروژن ($I_5F_1$) به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی به دلیل اثر تنش در کاهش سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ باشد. همچنین، نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۴، بیشترین مقدار برهمکنش اثر زئولیت و کود برای عملکرد دانه در تیمار کاربرد زئولیت و کود ورمی‌کمپوست ($Z_2F_2$) به مقدار (۵۶۹/۰۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در تیمار بدون کاربرد زئولیت و کود نیتروژن ($Z_1F_1$) به مقدار (۳۵۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۵). مقدار این نتایج مشابه با نتایج سایر محققینی است که گزارش کردند همبستگی منفی معنی‌داری بین تنش کم‌آبی و عملکرد دانه و بیولوژیک وجود دارد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009; Mokhtassi-Bidgoli *et al.*, 2013). همچنین، فلاح و نظری (Fallah and Nazari, 2012) در خصوص تاثیر تنش خشکی بر گیاه دارویی شنبلیله نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع، سطح برگ، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیولوژیک و شاخص برداشت گردید. بزازی و همکاران (Bazazi *et al.*, 2013) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) نسبت به شاهد (آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) عملکرد دانه شنبلیله به میزان ۴۲/۳ درصد کاهش می‌یابد. امیدی (Omidi, 2009) گزارش کرد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گلرنگ به‌دلیل کاهش CGR باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه گردید. گزارش شده است که مرحله زایشی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارد. کم‌آبی در این مرحله، سبب کاهش در اجزای عملکرد دانه (تعداد گلچه در کپسول) و کاهش طول دوره رسیدن دانه در آفتابگردان می‌شود. در نتیجه کاهش ظرفیت مخزن و کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009).

همچنین، در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، تیمار بدون تنش کم‌آبی با کود ورمی‌کمپوست ($I_1F_2$) در مقایسه با تیمار شاهد ($I_1F_1$) به‌ترتیب افزایش ۳۳ و ۲۵ درصد در عملکرد دانه را نشان داد. این به‌دلیل اثر کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه می‌باشد. گزارش کردند که کود ورمی‌کمپوست با بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و تهیه مداوم و پایدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن به‌دلیل افزایش دوام و شاخص سطح برگ، سبب افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک می‌شود (Arancon *et al*., 2005). حمیدپور و همکاران (Hamidpour *et al*., 2013) نشان دادند که کاربرد زئولیت بر خواص رویشی گل اطلسی اثر مثبت دارد و بیان داشتند که افزایش رشد گیاهان در تیمارهای حاوی زئولیت ممکن است مربوط به افزایش فراهمی برخی از عناصر غذایی باشد. محققین بسیاری گزارش نموده‌اند که زئولیت نقش مهم و موثری در بهبود ساختار فیزیکی خاک از طریق اصلاح ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) دارد که این به‌دلیل کاهش آب‌شویی نیتروژن و افزایش حضور کودها در ناحیه ریشه می‌باشد و همچنین زئولیت می‌تواند سبب افزایش مقدار آب قابل دسترس گیاه شود (Ippolito *et al*., 2011). همچنین، بیان داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست و زئولیت بر خواص کمی و کیفی گل اطلسی اثر مثبت دارد. زئولیت و ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه، وزن خشک ریشه، تعداد گل، تعداد برگ، قطر گل و ارتفاع نهایی گیاه و غلظت عناصر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و کلسیم در گل اطلسی می‌شود (Hamidpour *et al*., 2013). پاندی و همکاران (Pandy *et al*., 2000) گزارش کردند که کم آبیاری در اوایل رشد رویشی، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و سرعت رشد گیاه و ماده خشک را در گیاه ذرت به مقدار کمی کاهش می‌دهد و مرحله رشد زایشی، باعث کاهش شدید این شاخص‌ها می‌شود. پارسا و همکاران (Parsa *et al*., 2013) بیان داشتند که بیشترین عملکرد دانه با آبیاری در مرحله گل‌دهی حاصل شد. بنابراین آن دسته از عملیات زراعی که سرعت رشد محصول را در مرحله پر شدن دانه افزایش می‌دهد و دوام بافت‌های سبز گیاه را در طی این مرحله طولانی‌تر می‌سازد، می‌تواند میزان رشد و اندازه (وزن) دانه را در بقولات دانه‌ای بهبود بخشد. سینگ (Singh, 1995) نیز گزارش کرد اعمال تنش خشکی در کلیه مراحل رشد، شاخص سطح برگ لوبیا را کاهش داد، ولی تنش اعمال شده در مرحله قبل از گل‌دهی شاخص سطح برگ را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد.

## نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر با افزایش تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش یافته و تنش خشکی خفیف و شدید در مرحله رویشی نسبت به مرحله زایشی توانسته‌اند در مراحل پایانی فصل رشد شاخص سطح برگ بالاتری را به خود اختصاص داده و به‌تبع سطح سبز بیشتر، فتوسنتز بیشتری انجام داده و عملکرد بیولوژیک و دانه بیشتری را تولید کردند. همچنین افزودن کود ورمی‌کمپوست به‌دلیل قابلیت جذب آب بالا در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و همچنین فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن سبب افزایش شاخص سطح برگ و آهنگ رشد گیاه و به‌تبع آن افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله گردید. به‌گونه‌ای‌که به‌ترتیب در سال ۱۳۹۳ از نظر عملکرد دانه، تنش خفیف و شدید کم‌آبی در مرحله رویشی با ورمی‌کمپوست (۶۰۴/۸۷ و

۵۱۵/۴۳ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۶۰۵/۱۸ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. پس جهت مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان با مصرف ورمی‌کمپوست و کم‌آبی خفیف در مراحل رویشی، با کاهش ۲۰ درصد مصرف آب، عملکرد دانه شنبلیله مطلوبی در حد شرایط بدون تنش کم‌آبی تولید کرد. سرانجام تنش کم‌آبی خفیف در مرحله رویشی همراه با ورمی‌کمپوست توانست اثرات منفی تنش کمبود آب را به حداقل برساند و ممکن است از نظر عملکرد اقتصادی و شرایط اکولوژیکی نیز مفید واقع شود همچنین زئولیت نیز با افزایش آب قابل دسترس در اکثر صفات مربوط به شاخص‌های رشدی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله گردید.

**جدول ۱**- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌ی اجرای آزمایش و ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

**Table 1-** Physico-chemical properties of the soil of the experimental field and vermicompost use in experimental site

| | بافت خاک Soil texture | هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$) | pH | مواد آلی Organic matter (%) | نیتروژن کل Total N (%) | کربن به نیتروژن C/N | فسفر قابل جذب Available P ($mg\ kg^{-1}$) | پتاسیم قابل جذب Available K ($mg\ kg^{-1}$) | آهن Fe ($mg\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک soil | لومی شنی Sandy loam | 1.82 | 7.35 | 1.34 | 0.06 | 0.099 | 35 | 320 | 3.86 |
| ورمی‌کمپوست vermicompost | - | 9.25 | 7.65 | - | 0.84 | 16.5 | 48 | 72 | 14000 |

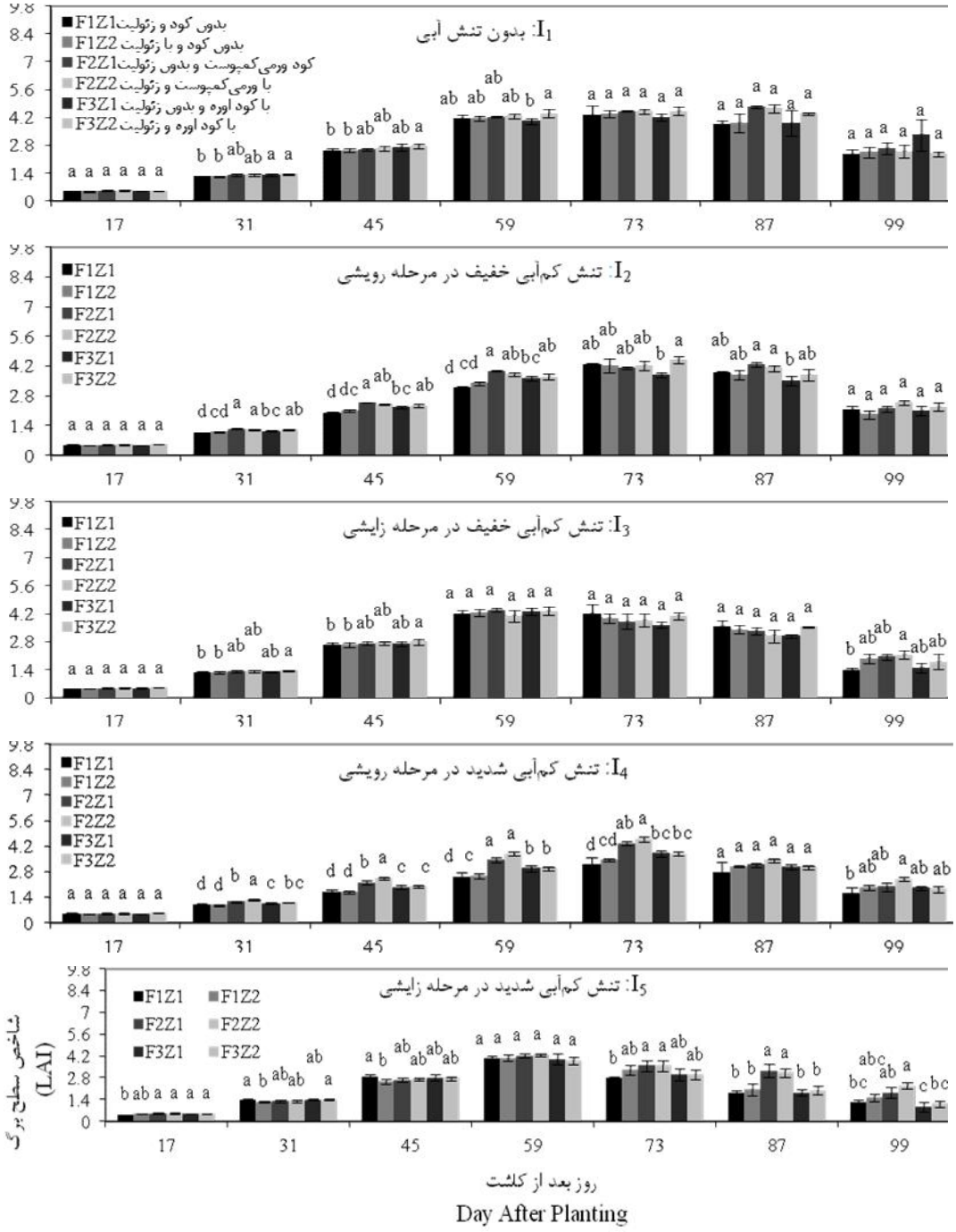
**جدول ۲**- درصد ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده

**Table 2-** Chemical composition in the zeolite percent

| اکسید منیزیم | اکسید سدیم | اکسید پتاس | تری اکسید آلومینیوم | دی اکسید سیلیسیوم | پنتا اکسید فسفر | تری اکسید گوگرد | کلر | تری اکسید آهن | اکسید منگنز | اکسید تیتانیوم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $AL_2O_3$ | $SiO_2$ | $P_2O_5$ | $SO_3$ | Cl | $Fe_2O_3$ | MnO | $TiO_2$ |
| 0.1 | 1.08 | 3 | 12.02 | 65 | 0.01 | - | - | 1.5 | 0.04 | 0.03 |

ظرفیت تبادل کاتیونی= 200 میلی‌اکی والان بر 100گرم

CEC= 200 meq.100g $^{-1}$

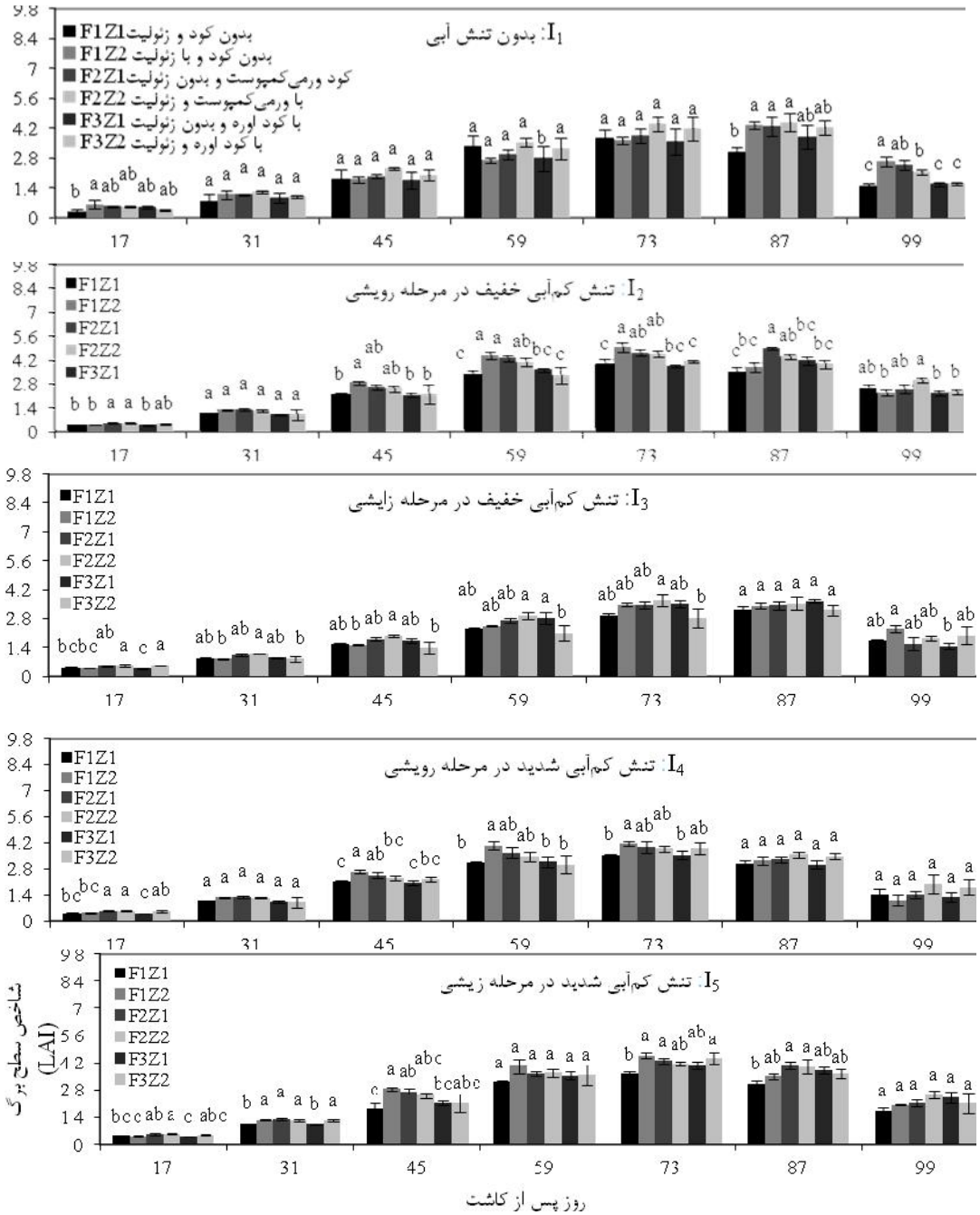



**شکل ۱**- شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۳

**Figure 1**- LAI in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.

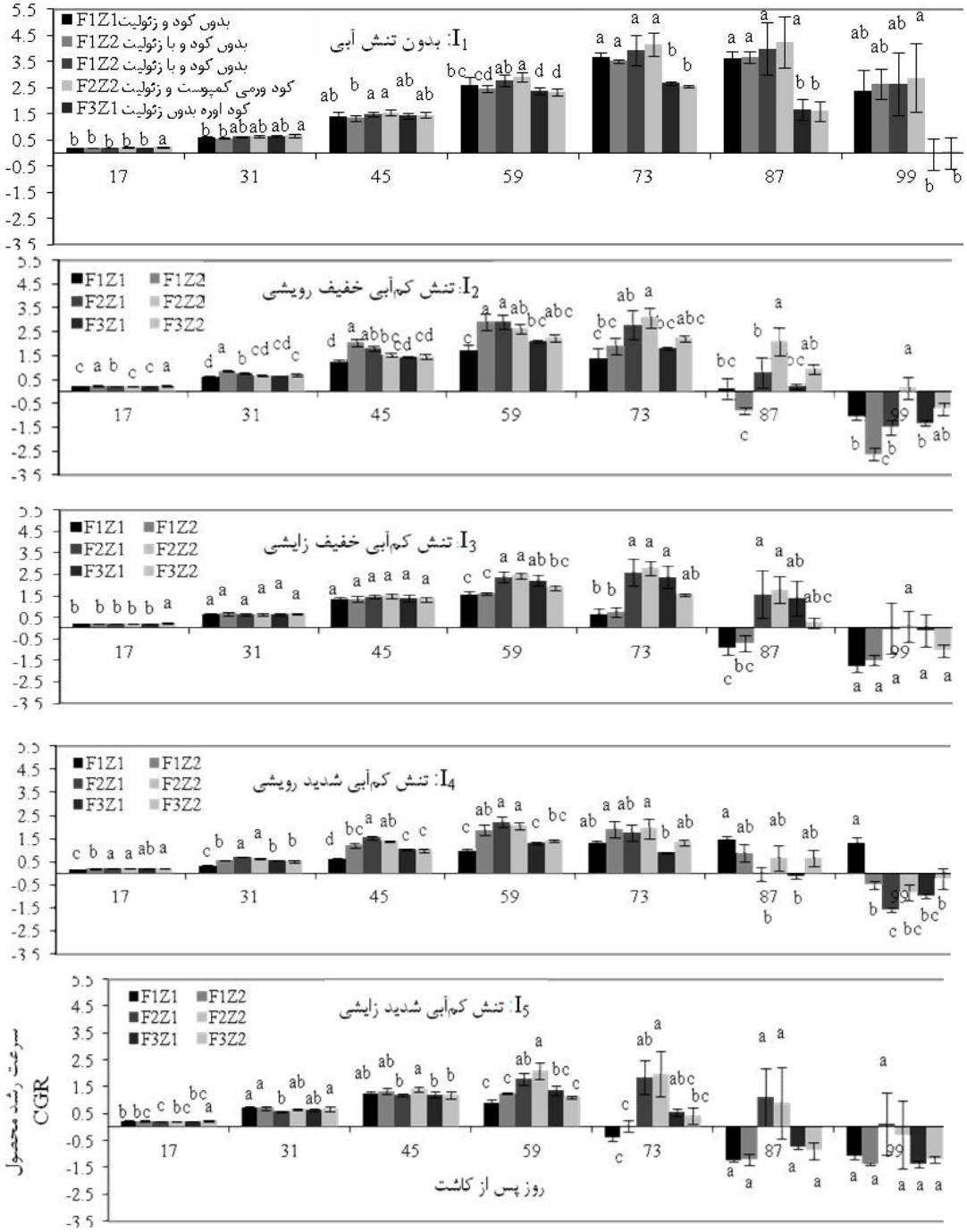



**شکل ۲**- شاخص سطح برگ در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۴

**Figure 2**- LAI in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2015

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.

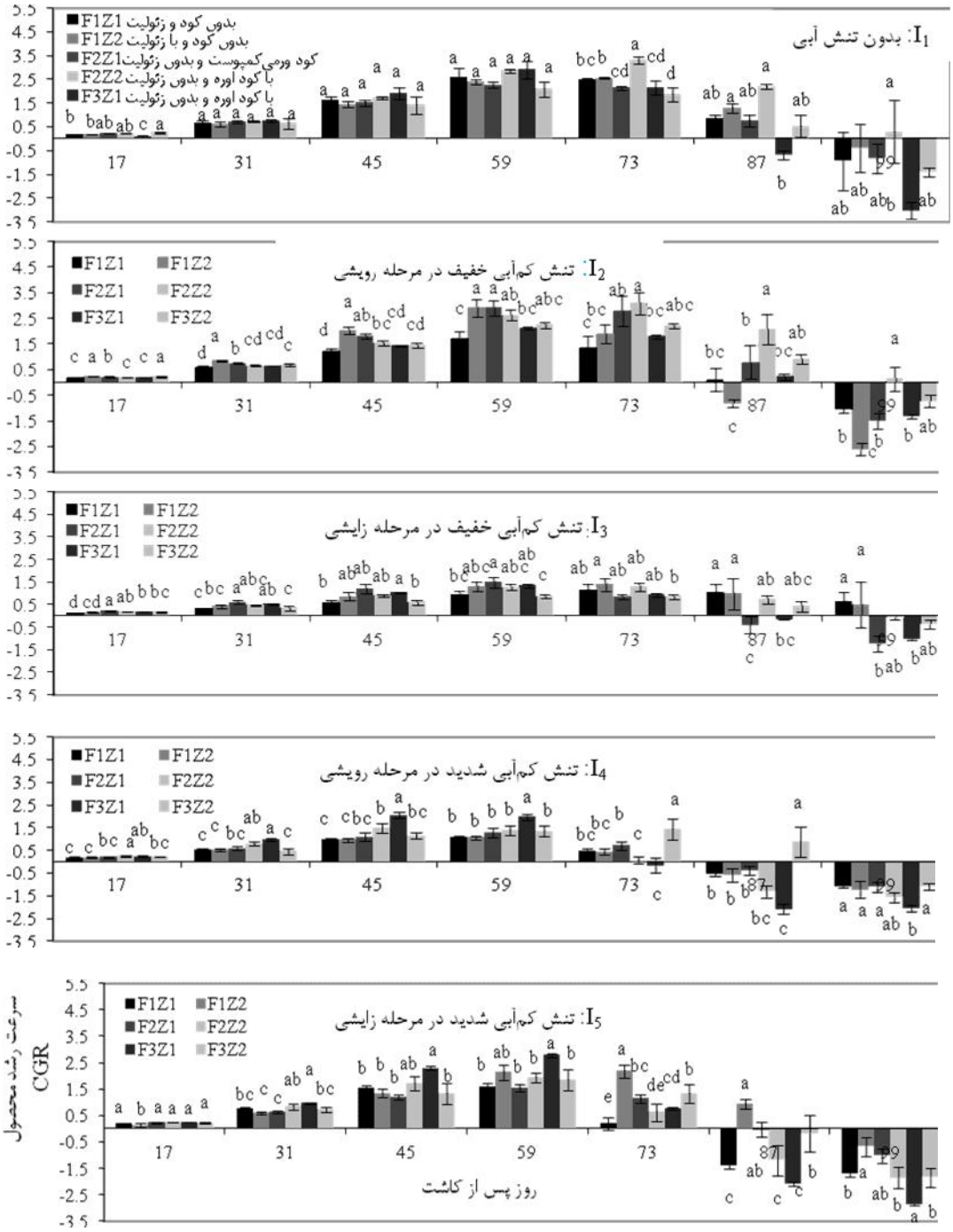



**شکل ۳**- سرعت رشد محصول در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۳

**Figure 3-** CGR in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.




**شکل ۴**- سرعت رشد محصول در رژیم‌های آبیاری، زئولیت و کود نیتروژن در سال ۱۳۹۴

**Figure 4-** CGR in irrigation regimes, zeolite and nitrogen fertilizer in 2014

در هر مرحله زمانی، ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال با یکدیگر ندارند. خطوط عمودی نشان دهنده خطای معیار می‌باشند.

at each time step, means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5%. Vertical lines represent a standard error.

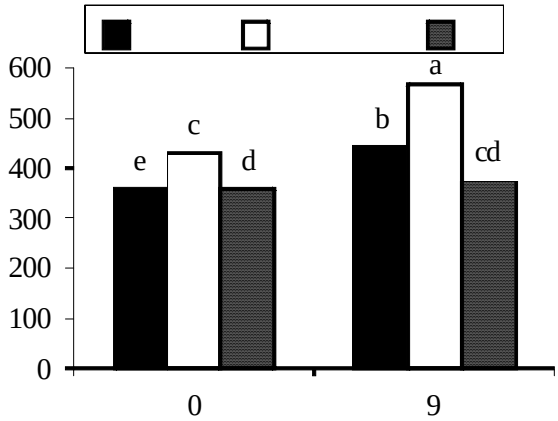
**جدول ۳**- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در شنبلیله

**Table 3-** Results of analysis of variance for the studied traits in fenugreek

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | ارتفاع گیاه Plant height | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield |
|---|---|---|---|---|
| سال (Y) | 1 | 387.20** | 16318.66* | 2191197.93** |
| خطای الف (Ea) | 4 | 6.87 | 7035.36 | 54978.60 |
| آبیاری (I) | 4 | 570.67** | 1403613.72** | 3350917.57** |
| IY | 4 | 30.01$^{ns}$ | 50633.38** | 111338.04** |
| خطای ب (Eb) | 16 | 36.65 | 5643.24 | 24516.10 |
| زئولیت (Z) | 1 | 1.80$^{ns}$ | 264099.95** | 161694.14* |
| کود (F) | 2 | 371.48** | 395412.16** | 1394380.82** |
| I×Z | 4 | 30.81$^{ns}$ | 2453.18$^{ns}$ | 32255.49$^{ns}$ |
| I×F | 8 | 91.78** | 49556.63** | 161780.03** |
| Z×F | 2 | 44.86$^{ns}$ | 35345.10* | 200061.21** |
| Z×Y | 1 | 15.02$^{ns}$ | 212.35$^{ns}$ | 41.95$^{ns}$ |
| F×Y | 2 | 15.20$^{ns}$ | 13475.94$^{ns}$ | 622835.01** |
| I×Z×F | 8 | 4.48$^{ns}$ | 6636.14$^{ns}$ | 68860.89** |
| I×Z×Y | 4 | 2.81$^{ns}$ | 2783.70$^{ns}$ | 25154.41$^{ns}$ |
| I×F×Y | 8 | 147.16** | 22419.07** | 64733.15** |
| Z×F×Y | 2 | 41.75$^{ns}$ | 3276.87$^{ns}$ | 36470.40$^{ns}$ |
| I×Z×F×Y | 8 | 13.06$^{ns}$ | 5538.78$^{ns}$ | 78243.96** |
| خطای پ (Ep) | 100 | 14.78 | 8857.91 | 23770.77 |
| ضریب تغییرات (C.V٪) | - | 9.66 | 22.64 | 12.41 |

ns،** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد

ns= non significant *=Significant at the 0.05 probability levels, **=Significant at the 0.01 probability levels.




**شکل ۵**- اثر بر همکنش زئولیت و کود نیتروژن بر عملکرد دانه شنبلیله

**Fig 5-** Effect of zeolite and nitrogen fertilizer interaction on seed yield in fenugreek

تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ با حروف متفاوت نشان داده شده‌است

Significant differences at $P \leq 0.05$ have been indicated with different letters

**جدول ۴**- برش‌دهی مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × زئولیت × کود × سال و برهمکنش آبیاری × کود × سال بر صفات مرتبط با ارتفاع و عملکرد

**Table 4-** Mean comparison of irrigation × zeolite × fertilizer × year and irrigation × fertilizer × year interaction on height and yield traits

| آبیاری Irrigation | زئولیت Zeolite ($t\ ha^{-1}$) | کود نیتروژن Nitrogen fertilizer | ارتفاع گیاه Plant height (cm) | | عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg\ ha^{-1}$) | | عملکرد دانه Grain yield ($kg\ ha^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Year سال | | 2014 ۱۳۹۳ | 2015 ۱۳۹۴ | 2014 ۱۳۹۳ | 2015 ۱۳۹۴ | 2014 ۱۳۹۳ | 2015 ۱۳۹۴ |
| $I_1$ | 0 | 0 | 42.16 | 40.9 | 1594.00 | 1594.00 | 605.18 | 714.83 |
| | | ورمی‌کمپوست | 46.66 | 45.00 | 1534.67 | 1564.37 | 903.10 | 959.57 |
| | | اوره | 47.16 | 46.16 | 1750.67 | 1750.60 | 554.63 | 601.20 |
| | 9 | 0 | - | - | 1540.67 | 1540.67 | - | - |
| | | ورمی‌کمپوست | - | - | 1998.00 | 1998.00 | - | - |
| | | اوره | - | - | 1027.33 | 1027.30 | - | - |
| $I_2$ | 0 | 0 | 39.66 | 38.91 | 1064.00 | 1054.00 | 502.38 | 481.06 |
| | | ورمی‌کمپوست | 43.33 | 41.83 | 1001.33 | 1001.30 | 604.87 | 495.64 |
| | | اوره | 48.00 | 48.41 | 947.33 | 947.33 | 442.15 | 415.45 |
| | 9 | 0 | - | - | 1150.67 | 1150.67 | - | - |
| | | ورمی‌کمپوست | - | - | 1298.00 | 1298.00 | - | - |
| | | اوره | - | - | 970.67 | 970.67 | - | - |
| $I_3$ | 0 | 0 | 39.33 | 36.58 | 920.67 | 920.67 | 124.18 | 329.59 |
| | | ورمی‌کمپوست | 43.83 | 39.83 | 1141.33 | 1141.33 | 301.77 | 420.03 |
| | | اوره | 44.33 | 42.41 | 1130.00 | 1130.00 | 273.24 | 278.21 |
| | 9 | 0 | - | - | 1364.00 | 1364.00 | - | - |
| | | ورمی‌کمپوست | - | - | 1088.00 | 1088.00 | - | - |
| | | اوره | - | - | 1050.67 | 1057.60 | - | - |
| $I_4$ | 0 | 0 | 36.66 | 34.91 | 967.33 | 967.33 | 416.19 | 330.23 |
| | | ورمی‌کمپوست | 42.66 | 38.91 | 878.00 | 878.00 | 515.43 | 394.96 |
| | | اوره | 37.33 | 40.50 | 874.00 | 874.0 | 306.53 | 340.52 |
| | 9 | 0 | - | - | 1050.67 | 1057.60 | - | - |
| | | ورمی‌کمپوست | - | - | 1061.33 | 1061.30 | - | - |
| | | اوره | - | - | 860.67 | 860.67 | - | - |
| $I_5$ | 0 | 0 | 34.66 | 33.50 | 827.33 | 827.33 | 147.51 | 141.68 |
| | | ورمی‌کمپوست | 41.83 | 38.08 | 961.33 | 961.33 | 266.25 | 224.35 |
| | | اوره | 31.16 | 30.83 | 946.67 | 946.67 | 181.72 | 195.50 |
| | 9 | 0 | - | - | 894.00 | 894.00 | - | - |
| | | ورمی‌کمپوست | - | - | 914.67 | 914.67 | - | - |
| | | اوره | - | - | 1154.00 | 1154.0 | - | - |
| | LSD | | 3.95 | 3.21 | 125.33 | 133.21 | 103.56 | 120.14 |

$I_1$= بدون تنش در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۲۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، $I_2$ و $I_3$ = به‌ترتیب تنش خفیف در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک، $I_4$ و $I_5$ = تنش شدید در مرحله رویشی و زایشی، آبیاری پس از تخلیه ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده

$I_{1:}$ unstress at vegetative and reproductive stages, Irrigation at 20% of FC; $I_{2,}$ $I_{3:}$ mild stress and irrigation at 40% of FC during the vegetative and reproductive stages respectively; $I_{4,}$ $I_{5:}$ severe stress irrigation at 60% of FC during the vegetative and reproductive stages respectively

خط تیره در هر ستون به منزله عدم وجود اثر متقابل سه گانه و حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the level of 5% (LSD).

## References منابع مورد استفاده


- Ahmad Alhadi, F., B. Taha Yasseen, and M. Jabr. 1999. Water stress and gibberellic acid effects on growth of Fenugreek plants. *Irrigation Science*. 18: 185-190.
- Allahdadi, I., A. Memari, Gh. Akbari, and O. Lotfifar. 2010. Effect of different amounts of municipal solid waste compost on soil properties and nutrient concentration and growth of corn yield. *Plant Production Technology*. 11(1): 83-97.
- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, P. Bierman, J.D. Metzger, and C. Lucht. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49: 297–306.
- Arguello, J.A., A. Ledesma, S.B. Nunez, C.H. Rodriguez, and M.D.D. Goldfarb. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of Rosado paraguayo garlic bulbs. *Hort Science*. 41(3): 589-592.
- Baghalian, K. Sh. Abdoshah, F. Khalighi-Sigaroodi, and F. Paknejad. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 49: 201-207.
- Bazazi, N., M. Khodambashi, and Sh. Mohammadi. 2013. Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of Fenugreek. *Journal of Crop Production and Processing*. 3(8): 11-22. (In Persian).
- Dadrasan, M., M.R. Chaichi, A.A. Pourbabaee, D. Yazdani, and R. Keshavarz-Afshar. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of Fenugreek. *Industrial Crops and Products*. 77: 156–162.
- Dordas, C., and C. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain-fed conditions. *Industrial Crops and Products*. 27: 75–85.
- Ehyaei, H.R., P. Rezvani Moghadam, and M.B. Amiri. 2009. Effect of drought stress on some morphological indices of sweet basil and fenugreek in greenhouse conditions. The First National Conference on Environmental Stresses in Agricultural Science, 28-29 January, Birjand University, pp. 136. (In Persian).
- Fallah, S., and M. Nazari. 2012. The effect of biofertilizers and zinc sulfate on growth and yield drug plant fenugreek under drought conditions in Shahrekord region. *Environmental Stresses in Crop Science*. 5(2): 147-159. (In Persian).
- Gardner, F., P.R. Balle, and D.E. Mc Cloud. 1990. Yield characreristics of ancient races of maize compared to a modern hybrid. *Agronomy Journal*. 82: 864-868.
- Gorgini Shabankareh, H., B.A. Fakheri, and R. Mohammadpuor Vashvaii. 2016. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Filed Crop Science*. 46(4): 673-686. (In Persian).
- Goudriaan, J., H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Haj-Seyed-Hadi, M., and H. Rezaee- Ghale .2016. Effects of vermicompost and foliar application of amino acids and urea on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 31(6): 1058-1070. (In Persian).

- Hamidpour, M., S. Fathi, and H. Rosta. 2013. The effect of zeolite and vermicompost on growth characteristics and concentration of some elements Petunia. *Science and Technology of Greenhouse Culture*. 4(13): 95-102. (In Persian).
- Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S.A.M. Modarres-Sanavy, and A. Mokhtassi-Bidgoli. 2015. Evaluation of light intensity and water deficiency stress with application of zeolite on physiological and phytochemical functions of Aloe Vera medicinal plant. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- Ippolito, A.J., D.D. Tarkalson, and G.A. Lehrsch. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture, and corn growth. *Soil Science*. 176(3): 136-142.
- Jaleel, C.A., B. Sankar, P.V. Murali, M. Gomathinayagam, G.M.A. Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2008. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus* L. impact on ajmalicine accumulation. *Colloids Surfaces. Biointerfaces*. 62: 105-111.
- Karimi, S., M. Nasri, and F. Ghoshchi. 2013. Investigation of drought stress on agro-physiological indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with zeolite application tested in the region of Varamin. *International Journal of Agriculture Science*. 3(12): 894-903.
- Loecke, T., D. Liebman, M. Cambardella, and T.L. Richard. 2004. Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop Science*. 44: 177-184.
- Mokhtassi-Bidgolia, A., M. Agha Alikhania, M. Nassiri-Mahallatib, E. Zandc, J.L. Gonzalez-Andujard, and A. Azarie. 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Products*. 44: 583– 592.
- Mosavian, S.N., and S.A. Seyed Mohammadi. 2015 .The effect of nitrogen and cropping patterns on morphological traits and growth indices in intercropping of maize and sunflower. *Crop Physiology Journal*. 7(26): 105-120. (In Persian).
- Movahhedy-Dehnavy, M., S.A.M. Modarres-Sanavy, and A. Mokhtassi-Bidgoli. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of sunfflower (*Helianthus annus* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*. 30: 82–92.
- Omidi, A.H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yeild and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Seed and Plant Production Journal*. 25(1): 15-31. (In Persian).
- Pandy, R.K., J.W. Maranvill, and M.M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agriculture Water Managment*. 46: 15-27.
- Parsa, M., A. Ganjali, E. Rezaeianzadeh, and A. Nezami. 2011. The effect of supplemental irrigation on yield and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9(3): 310-321. (In Persian).
- Radfords, P.J. 1967. Growth analysis formulae–Their use and abuse. *Crop Science*. 7: 171-175.

- Riasat, M., A.R. Nasirzadeh, A.A. Jafari, and L. Jokar. 2005. Resistance of Trigonella perennial accessions to drought stress. *Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Research*. 13: 189-208. (In Persian).
- Sajedi, N., and A. Ardekani. 2008. Effect of nitrogen fertilizer, iron on the physiological indices forage maize in central provinces. *Iranian Studies Journal of Agronomy*. 6 (1): 99-110. (In Persian).
- SAS, Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC.2002.
- Singer, J.W., K.A. Kohler, M. Liebman, T.L. Richard, C.A. Cambardella, and D.D. Buhler. 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean, and wheat and soil fertility. *Agronomy Journal*. 96: 531-537.
- Singh, S.P. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*. 35: 118-128.
- Soumare, M., G. Tack, and M.G. Verloo. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*. 86: 15-20.
- Taheri Asghari, A. 2010. Effects of water stress on morphological characteristics, proline and thymol content in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*. 26(2): 239-251. (In Persian).
- Tarighol Eslami, M., R. Zarghami, M. Mashhadi Akbar Bojar, and M. Oweici. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea may*s L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8(1): 161-174. (In Persian).
- Tunctürk, R., A.E. Celen, and M. Tunctürk. 2011. The effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield and quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Turkish Journal of Field Crops*. 16: 69–75.

# Effect of Deficit Water Stress on Some Growth Indices and Yield of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in Response to the Zeolite and Nitrogen Fertilizer

**Abolfazl Baghbani Arani[1], Seyyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy [2]*, Masoud Mashhadi Akbar Boojar[3] and Ali Mokhtassi Bidgoli[4]**

*Received: February 2016 , Revised: 6 November 2017, Accepted: 19 February 2018*

## Abstract

This study was conducted to investigate the effects of water deficit stress, nitrogen fertilizer and zeolite on growth parameters, biomass and seed yield of fenugreek. A split factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Field of Tarbiat Modares University in 2014 and 2015. Five irrigation regimes (unstressed, mild stresses during the vegetative and reproductive stages, respectively; severe stresses during the vegetative and reproductive stages, respectively) were randomized to the main plots. Subplots consisted of six treatments of a factorial combination of three levels of nitrogen fertilizations (untreated plots, vermicompost fertilizer at a rate of 2.7 $t.ha^{-1}$ and nitrogen chemical fertilizer at a rate of 11 $kg.ha^{-1}$) and two rates of zeolite (0 and 9 $t.ha^{-1}$). In both years, increasing severity of water deficiet stresses reduced leaf area index, crop growth rate, plant height, biological and seed yield of fenugreek; Thus, severe water deficit stress at the reproductive stage without fertilizer and zeolite (with the least amount of biological and grain yield) compared with that of control, caused 60.96 and 48.09 percent reduction in biological yield and 80.18 and 75.62 percent reduction in grain yield, in both years, respectively. Application of nitrogen fertilizer, especially vermicompost, resulted in a significant increase in the leaf area index, crop growth rate of fenugreek in various stages of development, thereby increased biological and grain yield in different irrigation regimes. In various irrigation regimes, higher leaf area index, crop growth rate and finally more yield produced with application of vermicompost or zeolite.

**Key words**: CGR, Drought stress, Chemical fertilizer, LAI, Vermicompost.

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2- Prof., Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3- Associate Prof., Department of Biology Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.
4- Assistant Prof., Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* *Corresponding Author: modaresa@modares.ac.ir*